Der Radialispuls bei eleviertem Arm.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

gesamten Medizin

verfasst und einer

Hohen medizinischen Fakultät

der

Kgl. Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Otto Forster,

Medizinalpraktikant aus Ingolstadt.



München 1912.

Kgl. Hofbuchdruckerei Kastner & Callwey.

27174


22102224455

Med
K29648

Der Radialispuls bei eleviertem Arm.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

gesamten Medizin

verfasst und einer

Hohen medizinischen Fakultät

der

Kgl. Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Otto Forster,

Medizinalpraktikant aus Ingolstadt.



München 1912.

Kgl. Hofbuchdruckerei Kastner & Callwey.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität München.

Referent: Herr Professor Dr. Otto Frank.

303950

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY
Coll. welMOmec
Call No. WE

Meinen lieben Eltern gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2016

https://archive.org/details/b28069699

Einleitung.

Die Veränderungen, welche die Radialispulskurve bei Veränderung der Haltung des Armes erfährt, sind so bedeutend, daß sie schon längst das Interesse der Untersucher erweckt haben. Die von den einzelnen Autoren beschriebenen Veränderungen der Kurvenform aber zeigen, ebenso wie die Erklärung derselben die größten Verschiedenheiten. Es ist dies sicher zur Hauptsache in der Mangelhaftigkeit der Methodik der Pulszeichnung begründet. Erst seit wenigen Jahren besitzen wir Instrumente, die den Radialispuls wie den zentralen mit einer höheren wissenschaftlichen Anforderungen genügenden Treue verzeichnen. Mit solcher Ausrüstung hat Flaskamp*) eine Anzahl Untersuchungen vorgenommen, deren Ergebnisse zwar in sich eine weit größere Einheitlichkeit erkennen lassen, als es bei den meisten der früheren Untersuchungen der Fall war, die aber andererseits von diesen letzteren wieder ebenso verschieden waren. So konnte er z. B. die von den Autoren mit

*) Flaskamp, Der Radialpuls bei verschiedener Haltung des Armes. Dissertation. Giessen 1907.

großer Regelmäßigkeit beobachtete Anakrotie der Kurve bei Elevation des Armes nicht verzeichnen. Da zudem der von Flaskamp benützte Sphygmograph, das erste Versuchsmodell des Frank-Peterschen Hebelsphygmographen, noch nicht die technische Vollendung des jetzt vorliegenden Instrumentes besaß — es fehlte z. B. die Zeitschreibung, die zur Auswertung der Kurven unerläßlich ist, habe ich die Versuche an einer größeren Anzahl von Personen wiederholt und zugleich etwas weiter ausgestaltet. Das Ergebnis stimmt, wie ich gleich hier vorausschicken kann, mit dem von Flaskamp der Hauptsache nach vollkommen überein.

Die Untersuchungen, über die im folgenden berichtet werden soll, sind nur mittels des Sphygmographen angestellt. Andere Untersuchungsmethoden, wie Blutdruckmessung, Tachographie usw. wurden nicht angewendet. Daraus ergibt sich, daß wesentlich neues Material für die Erklärung der gewonnenen Kurven nicht zu erwarten war. Die Bedeutung der genaueren Form des Radialispulses, der sich jetzt nach den Fortschritten der Methode wieder erneutes Interesse zuwendet (siehe Veiel*), ist ja nicht einmal für die gewöhnlichsten normalen Fälle genügend geklärt und ohne Verbindung mit anderen, speziell tachographischen Methoden oder dem Tierexperi-

---

*) Veiel, Ueber die Bedeutung der Pulsform. Deutsches Archiv für klin. Medizin. Bd. 105, 1912.

ment wohl überhaupt nicht zu verstehen. Die vorliegende Arbeit soll also in erster Linie eine zuverlässige experimentelle Basis für die Kenntnis der Radialispulse bei Elevation des Armes beibringen.

Versuchsanordnung.

Zu den Versuchen stellten sich mir 16 Herren zur Verfügung, Mediziner im Alter von 20 und 25 Jahren, vollkommen gesund, in einer Größe zwischen 1,67 Meter bis 1.84 Meter. Bei jedem von diesen war die Pulsation der Art. radialis am distalen Ende des Radius gut fühlbar. Die Versuchsperson saß möglichst bequem in einem Untersuchungsstuhl mit verstellbaren Armlehnen, wie er für klinische Zwecke gebräuchlich ist. Der Arm, von dem die Kurve abgenommen werden sollte, es wurde jeweils derjenige genommen, an dem die Arterie am besten fühlbar war, wurde dann im Ellenbogen rechtwinklig gebeugt auf die Armlehne gelegt, so daß der Apparat in der Höhe des Herzens sich befand. Die Hand umfaßte einen geeigneten Handgriff und hielt sich an diesem auch während der Elevation fest. Es gelang dadurch auch bei eleviertem Arme fast vollständig erzitterungsfreie Kurven zu erzielen. Neben dem Stuhl befand sich ein verstellbares Stativ, an dem eine weitere Armstütze mit Handgriff zur Aufnahme des elevierten Armes angebracht war. Die fräftig dorsalflektierte Hand hielt sich an dem Hand-

griff ohne Muskelspannung fest. Die Elevation wurde so gemessen, daß der Sphygmograph je nach der Größe der Versuchsperson um 60—70 cm höher als in Herzhöhe war. Vor Beendigung des Elevationsversuches wurde durch in-die-Höhe-Schrauben des die Armstütze tragenden Stativs die Elevation noch bis zur vollständigen Streckung des Armes auf 80—85 cm erhöht.

Die Pulsschreibung selbst wurde folgendermaßen vorgenommen: Zuerst wurde in Herzhöhe eine größere Anzahl Kurven bei stufenweise steigendem Pelottendruck verzeichnet, beginnend mit dem geringsten Druck, der eben noch deutliche Kurven lieferte, bis zur völligen Kompression der Arterie, wobei die Kurven wieder kleiner wurden. Dabei war einmal der Zweck verfolgt, denjenigen Pelottendruck festzustellen, der die größten Kurven lieferte, und außerdem wurde für die einzelnen Intervalle der Elastizitätskoeffizient des Hautgefäßpolsters in der von Petter*) angegebenen Weise bestimmt. Bei derjenigen Belastung, bei der die größten Kurven erzielt wurden, wurde dann eine weitere Kurve geschrieben und zwar so, daß zunächst 6—10 Pulse mit der langsamen, dann 2—3 mit der schnellen Geschwindigkeit registriert wurden. Die ersteren dienten zur Berechnung der Pulsfrequenz, die letzteren zur Ausmessung der Kurven. Nachdem in dieser

*) Petter, Die Leistungen des Sphygmographen. Zeitschrift für Biologie, Bd. 51, 1908.

Weise bei horizontaler Lage des Unterarmes die Messung und Kurvenschreibung ausgeführt war, wurde der Arm in Elevation gebracht und das beschriebene Verfahren wiederholt und bei längerer Dauer der Elevation, die in einzelnen Fällen bis 45 Minuten ausgedehnt war, noch mehrmals. Sodann wurden bei ganz gestrecktem Arm einige Kurven geschrieben, dann der Arm in Herzhöhe gebracht und sogleich wieder einige Aufnahmen gemacht.

In einem Versuch habe ich gleichzeitig die Radialiskurve an dem anderen, nicht elevierten Arme aufgenommen. Als Ergänzung zu diesen Aufnahmen machte ich dann mit Herrn Dr. Brömser drei optische Registrierungen mit gleichzeitiger Aufnahme des Subclaviapulses mit dem Spiegelsphygmographen von Frank. Die Eigenschwingungszahl dieses letzteren Apparates betrug jedenfalls annähernd 100.

Zur Methodik.

Wie erwähnt, habe ich nur 3 Versuche mit dem Spiegelsphygmographen, alle übrigen mit dem Hebelsphygmographen von Frank-Petter aufgenommen. Gegen die Anwendung von Instrumenten der letzteren Gattung haben Veiel und Noltenius,*) sowie Schmid**) schwere

---

*) Veiel & Noltenius, Die Vorzüge des Otto Frankschen Spiegelsphygmographen für die Aufzeichnung der Pulsform. Münchener med. Wochenschr., 1910, Nr. 15.

**) Schmid, Vergleich des Frankschen Spiegelsphygmographen mit dem Jaquetschen Cardiosphygmographen

Bedenken vorgebracht. Sie halten dieselben auch in ihren besten Modellen für unzuverlässig und jedenfalls der optischen Registrierung bedeutend unterlegen. Veiel und Noltenius haben zu ihren vergleichenden Versuchen einen Sphygmograph von Jaquet Modell 1910 benützt. Die veröffentlichten Kurven zeigen allerdings ziemlich erhebliche Entstellungen, die offenbar die Folge von Reibung in den Gelenken des Instrumentes darstellen und die bei dem neuen Modell Jaquets um so störender in den Vordergrund treten, als hiebei die reduzierte Masse des Hebelsystems gegenüber dem alten Modell beträchtlich vermindert ist. Diese Bedenken treffen auf unseren Apparat jedenfalls nicht zu. Derselbe unterscheidet sich von dem Apparat Jaquets durch eine Reihe von Verbesserungen, welche gerade darauf ausgehen, die Reibung auf ein unschädliches Minimum zu reduzieren, und daß dies tatsächlich erreicht ist, beweisen nicht nur die eingehenden physikalischen Untersuchungen, denen Petter (l. c.) das Instrument unterzogen hat, sondern auch die Kurven, die den auf optischem Wege erhaltenen so gut wie vollständig gleichen. Neben mancherlei Vorzügen, welche der Hebelsphygmograph infolge der sofortigen Sichtbarkeit der Kurven und der größeren Durchsichtigkeit der mechanischen Uebertragung bietet, gestattet er auch die Mes-

bei Aenderungen des Pulsrhythmus. Münchener med. Wochenschr., 1910, Nr. 15.

sung der Pelottenexkursionen und der Elastizität des Arterienrohres, was bei der optischen Registrierung nur sehr schwer möglich wäre. Es erscheint deshalb durchaus gerechtfertigt, die Leistungsfähigkeit dieses Apparates an einer praktischen Aufgabe zu erproben. Für Erzielung guter Resultate ist allerdings eine technisch exakte Handhabung des Apparates erforderlich. Außer der genauen Befolgung der Regeln, die in der Gebrauchsanweisung zu dem Frank-Petterschen Apparat beigegeben sind, soll insbesondere darauf geachtet werden, daß die Hebelübersetzung nicht stärker als 50fach ist. Bei richtiger Handhabung wird man dabei immer genügend große Kurven bekommen, während eine starke Hebelübersetzung sehr leicht zum Auftreten von Fehlern durch Reibung oder durch Biegung führt. Besondere Aufmerksamkeit ist den Störungen zuzuwenden, die durch seitliche Bewegung oder Abgleiten der Arterie unter der Pelotte entstehen können und zu dem Auftreten von abnormen Kurvenformen Veranlassung geben können. Eine gute Kontrolle darüber, ob der Apparat richtig sitzt, bietet die bereits erwähnte Bestimmung der Elastizitätskonstante E. Auffallend große Werte von E bei niedrigem Pelottendruck deuten darauf hin, daß die Pelotte nicht gut über der Arterie zentriert ist, während auffallend kleine Werte von E bei hohem Pelottendruck durch das elastische Nachgeben des ganzen Apparates bedingt sind, wenn derselbe nicht genügend fest

angeschnallt ist. Zeichnet man Kurven bei stufenweise ansteigendem Pelottendruck, so nehmen die Kurven nicht nur erst an Größe zu und später wieder ab, sondern zeigen auch in ihrer Form in der Regel deutliche Unterschiede. Der Hauptgipfel wird in der Regel mit steigendem Pelottendruck höher und spitzer, die sekundären Wellen sind am besten ausgeprägt in den größten Kurven. Diese Erscheinungen sind hauptsächlich durch die Weichteile verursacht und sind für die genauere Beurteilung der Kurvenform oder die Ausmessung der Kurve wohl im Auge zu behalten. Es ist wahrscheinlich, daß die gleichen Unregelmäßigkeiten sich auch bei der optischen Registrierung zeigen werden und eine vergleichende Untersuchung der beiden Verfahren, wie es Veiel vorgenommen hat, müßte darauf Rücksicht nehmen. Es besteht aber kein Zweifel, daß man die verläßlichsten Kurven erhält, wenn man den Pelottendruck so bemißt, daß die Kurven möglichst groß werden. Das Auftreten von Schleuderungen bei diesen großen Exkursionen ist bei dem vorliegenden Apparat ausgeschlossen. Die Genauigkeit der Aufzeichnung wird unter diesen Umständen der optischen Registrierung kaum nachstehen. Wenn man allerdings die zeitliche Lage der einzelnen Teilwellen der Kurve ausmessen will, so muß eine außerordentliche Exaktheit vorausgesetzt werden, da die Wellen in der Radialiskurve sehr flach sind und ihre Gipfel, die sehr häufig keine wirklichen

Maxima zur Kurve bilden, nur nach der Krümmung schätzungsweis festgestellt werden können, wobei die geringfügigsten Ordinatenfehler ziemlich beträchtlich erscheinbare Verschiebungen der Wellen zur Folge haben können. Eine exakte, nach den skizzierten Prinzipien durchgeführte Vergleichung der Leistungen des Frank-Petter'schen Sphygmographen mit dem Frank'schen Spiegelsphygmographen mit ziffernmäßiger Feststellung der Fehlergrenzen steht noch aus. Der Möglichkeit geringer Zeichnungsfehler glaube ich dadurch genügend Rechnung getragen zu haben, daß ich fast ausschließlich Durchschnittswerte aus einer größeren Reihe von Versuchen für die Ergebnisse verwendet habe.

Die Form der in Herzhöhe geschriebenen Kurve.

Die Erfahrungen, die ich an der Kurvenform machte, die in Herzhöhe geschrieben wurden, sind im wesentlichen dieselben, wie sie schon Flaskamp (l. c.) veröffentlicht hat. Auch ich bemerkte in der Pulsform 4 Erhebungen. Ist der Puls langsam genug, so sieht man auch ab und zu eine 5. Erhebung. Der Hauptsache nach macht die Kurve den Eindruck, daß sie sich aus zwei Wellensystemen zusammensetzt, und zwar gehören offenbar die erste, dritte, vierte (fünfte) Erhebung zu einem System abklingender Schwingungen; denn die Wellen folgen in annähernd gleichen Abstän-

den aufeinander, und ihre Amplituden nehmen sichtlich im gleichen Verhältnis ab. Wahrscheinlich handelt es sich, wie Frank meint, um eine Schwingung eines größeren Gefäßgebietes, des ganzen Armes oder des ganzen Körpers. Die zweite Erhebung, die rasch hinter dem Gipfel kommt, ist wohl eine Schwingung des peripheren Teils der Arteria radialis. Diese Schwingung ist am inkonstantesten und am leichtesten wechselnd. Ich werde darauf noch zu sprechen kommen. Meines Erachtens ist es vielleicht nicht möglich, diese Wellen einheitlich zu deuten, wahrscheinlich entstehen sie durch das Zusammenwirken von verschiedenen Faktoren, wie Reflexionen im Gefäßgebiet und Klappenschlußinzisur. So konnte ich z. B. in einem allerdings pathologischen Falle ziemlich regelmäßig eine deutliche Spaltung der flachen vierten Welle — des Nachschlages nach von Kries — in zwei ganz nahe beisammen liegenden Wellen beobachten, die dabei auch relativ viel rascher auf die dikrote Welle folgten, als es sonst der Fall war.

Es ist von Interesse, wenn man die Pulsform möglichst genau auswerten will, wie es die modernen Apparate erlauben, daß man sich vor allem darüber klar wird, welche Veränderungen die Pulse einer ruhenden Versuchsperson bei Abhaltung aller besonderen Einwirkungen von außen in einer Sitzung bereits normalerweise zeigen. Bei gesunden Personen sind es in erster Linie die respiratorischen

Schwankungen, die einen Einfluß ausüben, und zwar ist das leichte Auf- und Niedersteigen der Kurvenreihe als Ausdruck der respiratorischen Blutdruckschwankung aufzufassen. Unsere zuverlässigen Registrierapparate lassen jedoch auch Veränderungen in der Größe und einzelnen Form der Kurven erkennen. So sieht man, daß der mit dem Beginn der Inspiration zusammenfallende Puls in der Regel kleiner und niedriger und der Dikrotismus desselben stärker ausgeprägt ist, während der auf den Hauptgipfel folgende Zwischenschlag bedeutend schwächer hervortritt oder ganz verschwinden kann. In zweiter Linie wirkt das langdauernde Ruhigsitzen im Untersuchungsstuhl allmählich verändernd auf die Herztätigkeit, Blutdruck usw., womit ebenfalls gewisse Veränderungen in der Gestalt der Pulsform verknüpft sind. Endlich sind noch unvermeidliche psychische Einwirkungen vorhanden, wie die Aufmerksamkeit auf den Versuch, Temperatureinflüsse, die in gleicher Weise wirken. Was die Form der Kurve selbst anlangt, ist es, wie schon bemerkt, vor allem der auf den Hauptgipfel folgende Zwischenschlag, der außerordentlich leicht beeinflußt wird, und zwar scheint eine langsame, kräftige Herztätigkeit, also großes Schlagvolumen des Herzens und große Geschwindigkeit des ausgeworfenen Blutes sein Hervortreten zu begünstigen. Die Veränderungen, die die Pulsform in ein und derselben Sitzung erleidet, sind oft nicht unbeträchtlich, trotzdem aber zeigt

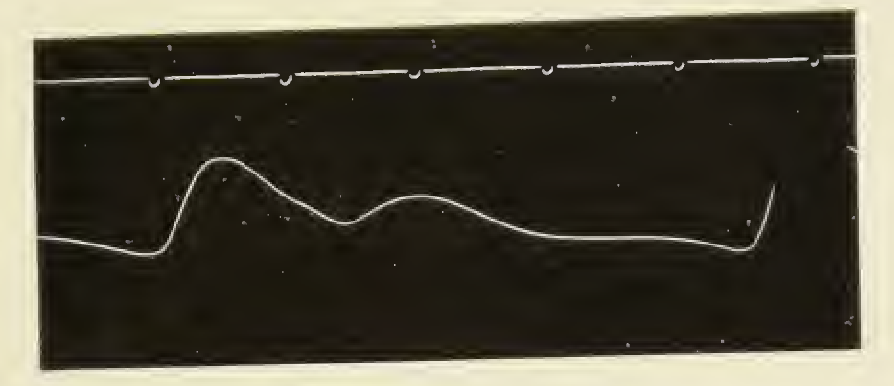
der Puls einer bestimmten Versuchsperson auch an verschiedenen Tagen ein sehr charakteristisches, konstantes Bild.

Kurve bei eleviertem Arm.

Form der Pulskurve.

Nach den Beobachtungen von Flaskamp ruft eine Elevation geringeren Grades keine merkliche Veränderung der Pulsform hervor. Ich habe deshalb diese Fälle nur zweimal untersucht, und zwar bei den bereits erwähnten Aufnahmen mit optischer Registrierung. Die Beobachtungen von Flaskamp fand ich in einem Versuch vollständig bestätigt, während in dem andern Falle (an der gleichen Versuchsperson) dieselbe Erhebung ein, wenn auch geringeres Höherrücken des Zwischenschlages zur Folge hatte, wie es für die Elevationshaltung charakteristisch ist. Erhebliche Veränderungen traten in beiden Fällen erst bei Erhebung von ca. 70 cm auf. Aus diesem Grunde habe ich bei allen Versuchen durchwegs eine Erhebung des Armes um ca. 75 cm vorgenommen. In den dabei gewonnenen Sphygmogrammen fällt nun vor allem eine starke Abflachung des Hauptgipfels und sämtlicher sekundärer Wellen in die Augen. Diese Deformation steigert sich noch erheblich, wenn man den Arm weiter bis zu stärkster Anspannung streckt. Dann verschwinden manchmal sämtliche sekundäre Wellen, und es wird nur eine einfache, ziemlich schnell ansteigende und

Versuch Nr. VII (Tabelle).



In Herzhöhe geschriebene Kurve.



Kurve nach 5 Minuten Elev.-Dauer.



Kurve nach 25 Min. Elev.-Dauer in forc. Elev.



Kurve wieder in Herzhöhe.

langsam abfallende Kurve mit breitem, rundem Gipfel gezeichnet. Bei dieser Erscheinung handelt es sich offenbar um eine Dämpfung der Welle, verursacht durch den Einfluß verstärkter Flüssigkeitsreibung. Als Ursache dafür könnte man an eine Verengerung der Gefäße denken, die infolge Druckverminderung in dem elevierten Arme eintritt; der Umstand aber, daß die Dämpfung erst bei beträchtlicher Elevation deutlich auftritt und hier durch eine verhältnismäßig geringe Steigerung der Elevationshöhe von 75 auf 85 cm, welche aber mit starker Zerrung des Armes verbunden ist, noch erheblich vermehrt wird, deutet darauf hin, daß es sich wahrscheinlich um eine Verengerung der Arterie in der Gegend der Arteria subclavia infolge der Zerrung handelt, wie dies schon in der Arbeit von Flaskamp bereits erwähnt ist.

Analysiert man nun nach diesem allgemeinen Eindruck die Form der Welle genauer, so bemerkt man weiterhin, daß der Hauptgipfel der Welle ein anderes Bild bietet. Er hat gegenüber der in Herzhöhe geschriebenen Kurve ein breiteres, stumpferes Aussehen. Es ist dies dadurch bedingt, daß der Anstieg der Kurve weniger steil ist, so daß eine deutliche Verspätung des Hauptgipfels der Kurve eintritt. Er liegt in meinen Versuchen durchschnittlich um 0,024 Sekunden später als bei den in Herzhöhe geschriebenen. Ferner erfolgt das Absinken der Kurve nach dem Gipfel bei der Elevation langsamer. Diese Erscheinung, die ja

ohnedies dem Charakter einer gedämpften Welle entspricht, wird noch dadurch verstärkt, daß die auf den Hauptgipfel gewöhnlich folgende Teilwelle, der sog. Zwischenschlag, deutlich nach vorne verlagert ist. Für die Verspätung des Hauptgipfels kann man außer der Dämpfung noch die Momente ins Feld führen, die v. Kries*) des näheren dargelegt hat. v. Kries ist der Ansicht, daß im elevierten Arm stärkere Reflexionen stattfinden und daß die aus weiter zentralwärts gelegenen Teilen des Armgefäßgebietes reflektierten Wellen der Arteria brachialis entlang peripherwärts laufend zu einer Verbreiterung des Hauptgipfels führen müßten. Außerordentlich auffallend erscheint aber die von mir zum ersten Male festgestellte Verlagerung des Zwischenschlages nach vorne, während die dikrote Welle ihre Lage bei der Elevation im Mittel nicht verändert. Wenn ich auch für die erstere Erscheinung keine Erklärung zu geben vermag, so ist es doch ein weiterer Beweis für die von Frank vertretene Anschauung, daß dieser Zwischenschlag im Arm selbst entsteht, während die dikrote Welle ihre Herkunft aus entfernteren Gefäßgebieten ableitet. Auf die Veränderungen in der Größe der Kurve werde ich später noch zurückkommen.

Der Zwischenschlag fällt nach meinen Messungen durchschnittlich um 0,034 Sekunden früher vom Fußpunkt der Kurve aus gemessen.

---

*) J. von Kries, Studien zur Pulslehre. Freiburg 1892.

Daraus ergibt sich also, daß in Herzhöhe Hauptgipfel und Zwischenschlag durchschnittlich um 0,144 Sekunden voneinander abstehen, bei Elevation jedoch nur um 0,086 Sekunden. Ist nun der Zwischenschlag kräftig ausgebildet, so kann leicht die Erscheinung auftreten, daß sein Gipfel ebenso hoch oder sogar höher liegt als die erste Welle. Man kann die Pulse, wenn man will, anakrot nennen, jedoch ergibt die zeitliche Ausmessung der Kurven unzweifelhaft, daß die erste Welle nicht etwa einen Vorschlag darstellt, sondern den Hauptschlag nach der Bezeichnungsweise von v. Kries. In einigen wenigen Versuchen fand ich aber auch einen echten Vorschlag, der etwa 0,03—0,04 Sekunden hinter dem Beginn der Kurve liegt. Mehrere Fälle dieser Art entpuppten sich aber lediglich als Fehler in der Registrierung und entstehen dadurch, daß die Arterie unter der Pelotte weggleitet. Eine genauere Adaptierung des Apparates brachte die Erscheinung sofort zum Verschwinden. Nur in einem Falle blieb dieser Vorschlag trotz aller Vorsichtsmaßregeln bestehen und wird daher wohl einer wirklich vorhandenen Blutdruckwelle entsprechen. Eine bestimmte Erklärung dafür kann ich nicht geben; doch scheint diese Pulsform nur quantitativ verschieden zu sein von einer anderen, die ich in zwei Versuchen ebenfalls als Ausnahme von der oben erwähnten Regel beobachten konnte. Bei diesen Versuchen erfolgte nämlich der Anstieg der Kurve nicht langsamer, sondern beträchtlich rascher wie

in Herzhöhe (siehe Tabelle Versuch 11). Einer der beiden Versuche ist optisch registriert.

Im Gegensatz zu dieser Verlagerung der ersten und zweiten Welle zeigt die dritte, der Nebenschlag oder die dikrote Welle, in ihrer zeitlichen Lage keine Abhängigkeit von der Haltung des Armes. Das Mittel aus unseren Versuchen ergibt nur eine Verfrühung um 0,006 Sekunden bei Elevation, ein Wert, der jedenfalls innerhalb der Fehlergrenzen liegt. Allerdings ist hiebei wohl zu beachten, daß nur der Mittelwert keine deutliche Abweichung nach der einen oder anderen Richtung zeigt. Die Werte der einzelnen Versuche selbst zeigen dagegen nicht unerhebliche Schwankungen bis zu 0,09 Sekunden. Wenn auch die Flachheit der Wellen in den elevierten Kurven die Genauigkeit der Messung beeinträchtigt, so halte ich es doch für ausgeschlossen, daß diese Differenzen, nur weil sie im Mittelwert wieder verschwinden, auf Messungsfehlern beruhen könnten; denn bei den in Herzhöhe geschriebenen Kurven erweisen die Gipfelzeiten der dikroten Welle, abgesehen von zwei Fällen, nur Unterschiede von höchstens 0,02 Sekunden. In den beiden Ausnahmefällen beträgt die Differenz 0,05—0,06 Sekunden. Wenn man aber in Betracht zieht, daß dies Unterschiede sind von Kurven, die vor und nach dem Elevationsversuch aufgenommen wurden, so ist es wahrscheinlich, daß sich eben in diesem Falle der zeitliche Ablauf der Welle selbst geändert hat. Ich komme also zu dem Ergeb-

nis, daß die Elevation auch die zeitliche Lage der dikroten Welle im einzelnen Falle erheblich beeinflußt. Der Einfluß ist jedoch von einer Art, daß er im Durchschnitt sämtlicher Versuche nicht zum Ausdruck kommt. Man könnte sich hiebei vielleicht vorstellen, daß die durch die Elevation gesetzte primäre Störung einen vitalen, vielleicht vasomotorischen Vorgang auslöst, der im Gesamtdurchschnitt ausgleichende Wirkung hat, im einzelnen Falle jedoch Ueber- oder Unterkompensation hervorbringen kann. Die vierte Welle, der sogen. Nachschlag, ist wegen seiner flachen Gestalt ohnedies nur mit geringer Genauigkeit zu messen und verschwindet bei der Elevation meist völlig, so daß ich über dessen Verhalten nichts aussagen kann.

Der zweckmäßigste Pelottendruck.

Der Sphygmograph nach Frank-Petter ermöglicht eine ebenso genaue Bestimmung des Druckes, den die Pelotte auf die Arterie ausübt, wie dies bei älteren Instrumenten durch Gewichtsbelastung versucht worden war. Die ziffernmäßige Bestimmung dieses Pelottendruckes erschien mir von Interesse: Man sieht ja schon beim ersten Versuch, daß man bei der Elevation, infolge der Senkung des Blutdruckes in der Arteria radialis zur Erzielung guter Kurven einen weit geringeren Pelottendruck anwenden muß (vgl. die Bemerkung von v. Kries, Seite 105). Es ist von vornherein nicht von der

Hand zu weisen, daß hiedurch die Pulskurve irgendwie beeinflußt werden könnte. Außerdem sind auch, wie ich zeigen werde, Aufschlüsse über den Zustand des Gefäßes zu erwarten.

Im nachfolgenden verstehe ich unter zweckmäßigstem Pelottendruck oder Pelottendruck kurzweg denjenigen Druck der Pelotte auf ihre Unterlage, bei dem die größten Kurven gezeichnet werden. Der Fall tritt dann ein, wenn die Arterie durch die Pelotte fast vollständig platt gedrückt wird. Das wird bewiesen durch das rasche, oft plötzliche Kleinerwerden der Pulskurve bei weiterer Erhöhung des Pelottendruckes. Allerdings konnte ich bei meinen Versuchen eine so scharfe Grenze, wie sie von Petter (l. c. S. 343) beschrieben worden ist, nicht beobachten. Die Ursache dafür liegt wahrscheinlich darin, daß die Pelotte des von Petter seinerzeit benützten Apparates einen unten leicht abgerundeten Querschnitt besaß, während sie bei meinem Apparat eine ganz ebene Druckfläche besitzt, um der Möglichkeit des seitlichen Wegrollens stark gespannter Arterien vorzubeugen. Reguliert man also, wie ich es getan habe, daß möglichst große Kurven gezeichnet werden, so ist die Arterie in allen Fällen annähernd im gleichen Grade komprimirt, und es ist erlaubt, die Mittelwerte aus größeren Gruppen von Versuchen miteinander zu vergleichen. Dieser zweckmäßigste Pelottendruck belief sich nun im Mittel aus allen

meinen Versuchen bei erhobener Haltung des Armes auf ungefähr ein Drittel desjenigen bei Herzhöhe. Nun wird man die Blutdrucksenkung bei einer Elevationshöhe von durchschnittlich 75 cm nur auf etwa die Hälfte veranschlagen können. v. Kries hält sie sogar für noch geringer. Daß der Pelottendruck stärker sinkt, als dem Blutdruck entsprechen würde, erklärt sich zwanglos aus der damit verbundenen Verengerung des Gefäßlumens; denn wesentliche Veränderungen des zentralen Blutdruckes kommen sicher nicht vor, und dann besteht die Aenderung des zentralen Druckes bei der Elevation des Armes nur in einer unwesentlichen Steigerung desselben, keinesfalls aber in einer stärkeren Erniedrigung. Dies ergibt sich schon aus theoretischen Ueberlegungen (siehe Flaskamp) und aus der schon von Marey gefundenen Tatsache, daß bei Elevation eines Armes die Kurvenreihe der anderen Radialis nur unwesentlich steigt. Bei längerer Dauer der Elevation muß man den Pelottendruck in der Regel wieder ändern, die Schwankung betrifft aber in meinen Versuchen ebenso oft eine Erhöhung wie eine Erniedrigung. Sie können sowohl der Ausdruck vasomotorischer Veränderungen des Gefäßlumens sein, als die Folge von Blutdruckschwankungen. Einen weiteren Hinweis dafür bietet der regelmäßige Zusammenhang mit den Schwankungen der Pulsfrequenz. Es zeigt sich nämlich, daß in 11 Fällen, bei denen eine Aenderung des Pelottendruckes während der Ele-

vation notwendig wurde, die Pulsfrequenz sich in dem nämlichen Sinne änderte, wie der Pelottendruck und nur in 2 Fällen im entgegengesetzten Sinne. In weiteren 2 Fällen änderte sich die Pulsfrequenz, während eine Veränderung des Pelottendruckes nicht nötig war. Diese Erscheinung zeigt sich auch an den Mittelwerten für den Pelottendruck und die Pulsfrequenz bei gesenktem Arm vor der Elevation im Vergleich zu denen unmittelbar nach dem Elevationsversuch. Es war:

	Pulsfrequenz	Pelottendruck
im 1. Falle	68,5	120 g
„ 2. „	70,2	135 g

Es ist demnach wahrscheinlich, daß es in der Hauptsache geringe, nicht ganz ausschaltbare, von der Elevation herrührende Blutdruckschwankungen sind, welche sich in einer Aenderung des zweckmäßigsten Pelottendruckes kennbar machen.

Die Elastizitätskonstante E.

Weiter schien mir, wie schon erwähnt, von Interesse, die Bestimmung der Elastizitätskonstante E. Die Pelotte ist auf der Unterlage elastisch gelagert. Das Maß für die Elastizität des Polsters gibt die Konstante E. Sie setzt sich zusammen aus der Prallheit des durch den Blutdruck gespannten Gefäßes und der Spannung und Zusammendrückbarkeit der Weichteile. Die erste dieser beiden Komponenten ist es, die mich vornehmlich interessiert, so

daß ich E einfach als Maß für die Prallheit der Arterie behandle. Dabei bildet dann allerdings der Einfluß der Weichteile eine Fehlerquelle von schätzungsweise derselben Größenordnung.

Es ist zu erwarten, daß sich diese Konstante bei der Elevation des Armes ebenfalls ändert. Ich habe deren Bestimmung für verschiedene Pelottendrucke, diese allmählich bis zur vollkommenen Kompression der Arterie steigernd, vorgenommen. Die Werte von E wachsen dabei in der Regel stetig von etwa $0{,}5 \times 10^6$ bei 30 Gramm Pelottendruck auf durchschnittlich $1{,}5 \times 10^6$ in dem Bezirk der größten Pulsgruppen. Bei weiterer Steigerung des Pelottendruckes werden die letzteren ziemlich rasch klein und die Werte von E wachsen auf 2 bis 3 mal 10^6 und darüber. Meine Versuche bestätigen daher die Angaben von Petter (l. c. S. 338) über diese Werte. Allerdings kommen häufig größere Unregelmäßigkeiten vor, besonders wenn man bei der Ausführung der Versuche nicht peinlichste Sorgfalt walten läßt, die aber bei der Eigenart der Verhältnisse nicht auffallend sind. Ich verwende deshalb auch nur die Durchschnittswerte von sämtlichen Kurven. Wegen des allmählichen Ansteigens der Prallheitskonstante mit wachsendem Pelottendruck lassen sich nur Werte miteinander vergleichen, die bei gleichem Kompressionsgrad der Arterie gefunden wurden. Das dürfte mit genügender Genauigkeit erreicht sein, wenn man die Werte aus dem Be-

zirke nimmt, der die größten Pulskurven liefert. Unter diesen Voraussetzungen fand ich nun für den gesenkten Arm ein durchschnittl. E von $1{,}4 \times 10^6$, für den elevierten Arm ein durchschnittl. E von $1{,}0 \times 10^6$. Die Differenz entspricht ungefähr dem mutmaßlichen Unterschiede im Blutdruck. Die theoretische Eigenschwingungsdauer des Frank-Petterschen Apparates hängt nun fast ausschließlich von diesem Koeffizienten E ab, da die Elastizitätskonstante der Druckfeder bei diesem Instrument nur etwa den 10. Teil so groß ist. Die oben gefundene Verminderung von E bedeutet aber nur eine Herabsetzung der Schwingungszahl um etwa 20%, was auf die Güte des Instrumentes keinen merkbaren Einfluß hat. In größerem Maße könnte jedoch die Empfindlichkeit des Instrumentes, d. h. die Höhe der bei einer bestimmten Blutdruckschwankung gezeichneten Kurven verändert werden. Denn sie ist der Größe von E umgekehrt proportional, so daß also bei erhobenem Arm aus diesem Grunde größere Kurven zu erwarten wären; da sich aber bei der Elevation auch das Gefäß verengert, so verkleinert sich dadurch auch die Fläche, mit welcher die Pelotte der plattgedrückten Arterie aufliegt. Die Blutdruckschwankungen übertragen sich dadurch in einem kleineren Maßstabe auf die Pelotte (Kleinerwerden der Konstante R der Formel 2, Petter l. c. S. 336). Dieses letztere Moment würde eine Verkleinerung der Kurven zur Folge haben. Im einzelnen Falle wird nun bald der

eine, bald der andere Umstand ausschlaggebend sein, während die Durchschnittswerte ziemlich unverändert bleiben dürften. Dabei ist natürlich vorausgesetzt, daß die Größe der pulsatorischen Blutdruckschwankungen sich bei der Elevation nicht ändert.

Wenn nun fast alle früheren Untersucher, mit Ausnahme von Flaskamp, oft eine sehr wesentliche Erhöhung der Pulskurve des elevierten Armes fanden, so ergaben meine Versuche das Gegenteil, wenigstens für den Hauptgipfel, d. h. die erste Welle der Pulskurve, die ja fast ausnahmslos bei erhobenem Arm die höchste Erhebung der Kurve darstellt. Die durchschnittliche Kurvenhöhe betrug

in Herzhöhe	7,2 mm
,, Elevation	5,9 mm

Anders verhalten sich die beiden wichtigsten, sog. sekundären Wellen der Zwischenschlag und die dikrote Welle, die in den Kurven des elevierten Armes durchschnittlich etwas höher zu liegen kommen. Für die dikrote Welle ist der Unterschied nur gering, etwa 0,2 mm, für den Zwischenschlag 0,7 mm. Die letztere Zahl findet ihre Erklärung in der bereits besprochenen zeitlichen Verlagerung der ersten und zweiten Welle bei der Elevation. Der Hauptgipfel fällt etwas später, der Zwischenschlag dagegen rückt nach vorne, kommt also nahe an den Hauptgipfel zu liegen. Die ungleichmäßigen Niveauänderungen der einzelnen Teilwellen geben der Kurve des elevierten

Armes ein charakteristisches Aussehen. Der Abfall nach dem Hauptgipfel erfolgt weit langsamer als wie in der Kurve des gesenkten Armes. Die hauptsächlichste Formveränderung der Pulskurve bei der Elevation besteht also in einer Erniedrigung und Abflachung des Hauptgipfels und einer ebensolchen Abflachung oder Ausfüllung der Einsenkung der Kurve zwischen Hauptgipfel und dikroter Welle. Es sind das genau die Erscheinungen, die bei einer starken Dämpfung der Wellen zu erwarten wären.

Das Verhalten des zentralen Pulses.

Es ist schon aus theoretischen Erwägungen bei dem geringen Einfluß einer Erhebung des Armes auf den übrigen Körperkreislauf wahrscheinlich, daß die Form des zentralen Pulses dadurch gar nicht oder nur unerheblich beeinflußt wird. Ich bin dieser Frage auf experimentellem Wege nachgegangen durch gleichzeitige optische Registrierung des Subclavia- und Radialispulses in drei Versuchen. Während in einem derselben der Subclaviapuls nicht die geringste Veränderung erfuhr, zeigte sich in den beiden anderen Versuchen ein deutlicher, wenn auch geringer Einfluß der Elevation, und zwar in ähnlichem Sinne wie in der Radialiskurve. Der Hauptgipfel wurde breiter, die im aufsteigenden Ast der Kurve vorher vorhandene Zacke verschwand. Auch die durch die Klappenschlußincisur ausgelösten kurzen Schwingungen er-

schienen verflacht. Diese Erscheinungen sind wieder die einer stärkeren Dämpfung der Wellen und erklären sich vielleicht aus einer Fortsetzung der Zerrung bis auf den Truncus anonymus.

Eine, wenn auch schlechte Kontrolle des zentralen Pulses stellt auch der eine, bereits erwähnte Versuch mit gleichzeitiger Registrierung des Radialispulses des rechten Armes dar, während der linke eleviert wurde. Die Kurve des ersteren enthielt einen gut ausgeprägten Zwischen- und Nebenschlag, außerdem aber noch unmittelbar hinter dem ziemlich spitzen Hauptgipfel einen kleinen Knick, also eine Andeutung einer weiteren sekundären Welle, wie ich sie sonst in keinem einzigen anderen Falle wahrnehmen konnte. Dieser fehlte wieder in dem unmittelbar nachher aufgenommenen Sphygmogramm, wobei der linke Arm wieder in Herzhöhe gebracht war. Doch war die Erscheinung nicht so ausgeprägt, daß ich aus diesem einzigen Versuch weitere Schlüsse ziehen möchte.

Zur Literatur.

Wenn ich die Ergebnisse meiner Versuche mit denen früherer Untersucher vergleiche, so finde ich dieselben im Einklang nur mit den Experimenten von Flaskamp, während sie von den Ermittlungen anderer Untersucher beträchtlich abweichen. So beobachtete Ur-

lich*) zwar ebenfalls die Abflachung des Kurvengipfels und der sekundären Wellen, aber nur während der ersten Minuten der Elevation, während später die Pulskurven anakrot wurden, nach 10 Minuten sogar eine äußerst schlanke Spitze und sehr ausgeprägte Wellen aufwiesen. Menli**) konnte zwar diese letzteren Befunde Urlichs nicht bestätigen, aber er erhielt regelmäßig anakrote Pulskurven und fand bei längerer Dauer der Elevation die Pulsbilder äußerst inkonstant. Ich konnte dagegen eine wesentliche Veränderung in der Gestalt der Pulskurve bei Elevation bis zu 45 Minuten nicht beobachten, wenn dabei die Lage des Armes wirklich unverändert blieb. Ist dies jedoch nicht der Fall, so können allerdings leichte Veränderungen in der Pulskurve auftreten. Ich bin mit Flaskamp der Ansicht, daß die Veränderungen der Pulskurve der Hauptsache nach in einer Zerrung und Kompression der Arteria subclavia oder Arteria brachialis in der Gegend des Schultergelenkes ihre Ursachen haben; denn sie tritt ziemlich plötzlich bei einem bestimmten Elevationsgrad auf und ist in der Nähe dieser Grenze durch geringe Aenderung in der Haltung des Armes stark zu beeinflussen. Auf diese Weise dürften wohl die erwähnten Verschiedenheiten der Versuchsergebnisse zu erklären sein.

*) Urlich. Ueber die Elastizitätsverhältnisse der Arterien bei vertikaler Elevation. Archiv für klin. Chirurgie. Bd. 26.

**) Menli. Dissertation. Bern 1882.

Besonders beachtenswert ist das Auftreten von Anakrotismus, wie es außer Urlich und Menli auch von Frey*) und v. Kries (l. c.) beobachteten. Ich habe mich bereits auf Seite 19 darüber näher ausgesprochen. Ich fand dabei durch genaue zeitliche Ausmessung der Kurven die schon von v. Kries niedergelegte Ansicht bestätigt, daß eigentlich die erste Welle dem Hauptgipfel der Kurve bei gesenktem Arme entspricht, während bei Elevation der nach vorn gerückte Zwischenschlag den verbreiterten Hauptgipfel überhöhen kann. Nur insofern stimmen meine Ergebnisse mit denen der genannten Autoren nicht überein, als ich die Erscheinung nur in verhältnismäßig wenigen Fällen beobachten konnte, und zwar auch bei den drei Versuchen mit optischer Registrierung nur einmal. Es ist mir dies um so auffallender, als gerade die optische Registriermethode, die v. Kries bei diesen Versuchen anwendete, einwandfrei zu sein scheint. Das sehr seltene Auftreten eines wirklichen Vorschlages habe ich ebenfalls bereits erwähnt.

Ferner fand ich im Gegensatz zu v. Kries die Pulskurve des elevierten Armes durchschnittlich kleiner als die des gesenkten Armes. Die von Marey**) mitgeteilte Beobachtung, daß ein bei gewöhnlicher Haltung des Armes unfühlbarer Puls bei Elevation des Armes große Kurven lieferte, konnte ich in kei-

*) von Frey, Die Untersuchungen des Pulses. 1892.
**) Marey, Circulation du sang. pag. 287.

nem einzigen Falle machen. Die Ursache dafür könnte darin zu suchen sein, daß es bei manchen Sphygmographen älterer Konstruktion nicht möglich ist, den Pelottendruck so ausführlich zu variieren, daß in jedem Falle maximale Pulskurven geschrieben werden könnten.

* * *

Herrn Professor Frank spreche ich für die liebenswürdige Ueberlassung dieser Arbeit meinen besten Dank aus, ebenso bin ich Herrn Dr. Petter für die freundliche Unterstützung bei der Ausführung derselben zu großem Danke verpflichtet.





Ta

Vers.-Nr.	Hauptschlag		Zwischenschlag		Nebenschlag		Nachschlag	Pelottendruck		
	H.	E.	H.	E.	H.	E.		H.	E.	H.
I	0,100	0,127	—	—	0,370	0,364	0,76	—	—	—
II	0,093	0,088	0,260	0,236	0,411	0,407	0,73	—	—	—
III	0,111	0,132	—	—	0,366	0,358	0,54	168	60	145
IV	0,105	0,105	—	—	0,380	0,380	—	120	72	—
V	0,110	0,122	0,255	—	0,385	0,350	0,68	145	36	—
VI	0,096	0,131	0,267	—	0,403	0,403	0,76	156	24	—
VII	0,096	0,152	0,247	0,235	0,405	0,470	0,80	120	24	145
VIII	0,121	0,134	0,266	—	0,460	0,390	0,93	95	48	95
IX	0,119	0,167	—	—	0,405	0,408	0,76	95	48	95
X	0,106	0,119	0,258	0,163	0,405	0,373	0,75	120	40	120
XI	0,095	0,065	0,240	0,192	0,410	0,360	0,69	120	50	168
XII	0,088	0,108	0,224	0,204	0,360	0,363	0,71	95	48	145
XIII	0,086	0,130	0,216	0,228	0,380	0,370	—	168	48	—
XIV	0,090	0,098	0,245	0,207	0,387	0,388	0,73	120	72	157
XV	0,104	0,123	—	—	0,400	0,410	0,79	95	36	—
XVI	0,100	0,167	0,225	0,216	0,380	0,410	—	95	40	—
XVII	0,087	0,165	0,230	—	0,390	0,385	0,74	95	36	145
Mittel aus sämtl. Vers.	0,100	0,125	0,244	0,210	0,394	0,388	0,74	120	45,5	135

belle.

werte

Curvenhöhe (mm) in Herzhöhe			Curvenhöhe (mm) in Elevation			Pulsfrequenz	
1	2	3	1	2	3	H.	E.
6,5	—	3,5	4,5	4,5	3,0	71,5	67
8,4	4,1	5,1	9,8	5,7	4,9	53,5	55
9,2	—	2,7	9,3	—	3,3	93,0	88,3
5,0	—	2,5	4,0	—	2,2	68.5	70
9,0	5,7	6,0	8,2	—	6,2	65,5	65,7
8,3	4,7	4,5	7,4	—	4,5	61,3	67,8
9.0	3,7	5,0	7,7	7,2	4,3	64,5	64,4
9,2	5,5	5,2	5,5		3,2	64,0	59,0
9,2	—	4,5	4.0	—	3.5	73,0	64,3
8,4	4,5	4,0	5,0	5.0	4,3	63,5	59,4
9,6	5,0	5,0	5,2	5.7	3,9	76,0	71,0
5,2	2,7	2,9	5,8	4,6	3,9	71,0	70,0
2,8	2,0	1,8	4,2	3,5	3,2	66,6	63,5
4,4	2.3	2,5	3,2	3,0	2,0	69,0	71,3
4,2	—	2,8	4,6	—	3,7	69,0	61,5
7,0	5,0	5,0	5,3	4,0	4,0	74,0	65,8
6,3	4,0	3,7	5,9	—	4,7	61,5	60.3
7,16	4,1	3,98	5,9	4,8	3,82	68,6	66,8

Lebenslauf.

Der Unterfertigte, Otto Forster, wurde geboren am 5. November 1886 zu Ingolstadt a. D. Nachdem er 4 Jahre die Volksschule besucht hatte, trat er in das humanistische Gymnasium ein und absolvierte es am 14. Juli 06 in Fürth i. B. Hierauf widmete er sich dem Studium der Medizin, zunächst 2 Semester in Erlangen, die übrigen Semester in München. Hier bestand e im Wintersemester 1908/09 das Tentamen physicum und am 25. Januar 1912 die ärztlich Approbationsprüfung. Hierauf trat er in da Anatomische Institut als Medizinalpraktikant ein.

OTTO FORSTER.



